

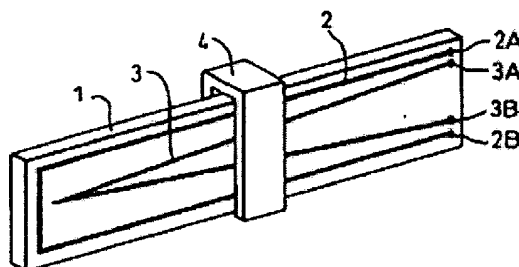
**Contactless linear or angular displacement sensors**

**Patent number:** FR2682760  
**Publication date:** 1993-04-23  
**Inventor:** ALAIN COTY  
**Applicant:** PROTOTYPE MECANIQUE IND (FR)  
**Classification:**  
- **international:** G01B7/00; G01D5/12  
- **europaean:** G01B7/02; G01D5/20C; G01D5/241B; G01D5/241B1  
**Application number:** FR19910013005 19911022  
**Priority number(s):** FR19910013005 19911022

Report a data error here

**Abstract of FR2682760**

The sensor of the invention essentially comprises two reactive circuits, for example inductive circuits, extending in the direction of the displacement to be measured, and a slide (4) integral with the object whose displacements are measured. The first circuit (2) has a constant cross-section, whilst the second (3) has a progressively decreasing cross-section. The slide, made here of a ferromagnetic material, alters the coupling between these two circuits. It is sufficient to measure the voltage variations at the terminals of the second circuit, and to calibrate them in distance values.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

(11) N° de publication :  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

2 682 760

(21) N° d'enregistrement national :

91 13005

(51) Int Cl<sup>8</sup> : G 01 D 5/12, G 01 B 7/00

(12)

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

(22) Date de dépôt : 22.10.91.

(30) Priorité :

(43) Date de la mise à disposition du public de la  
demande : 23.04.93 Bulletin 93/16.

(56) Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche : *Se reporter à la fin du présent fascicule.*

(60) Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

(71) Demandeur(s) : LE PROTOTYPE MECANIQUE  
INDUSTRIE LPMI — FR.

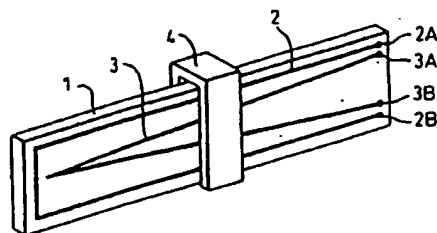
(72) Inventeur(s) : Coty Alain.

(73) Titulaire(s) :

(74) Mandataire : Cabinet Sueur & L'Helgoualch.

(54) Capteurs de déplacements linéaires ou angulaires sans contact.

(57) Le capteur de l'invention comporte essentiellement deux circuits réactifs, par exemple inductifs, s'étendant dans la direction du déplacement à mesurer, et un curseur (4) solidaire de l'objet dont on mesure les déplacements. Le premier circuit (2) a une section constante, alors que le second (3) a une section diminuant progressivement. Le curseur, ici en matériau ferromagnétique, modifie le couplage entre ces deux circuits. Il suffit de mesurer les variations de tension aux bornes du second circuit, et de les étalonner en valeurs de distances.



FR 2 682 760 - A1



CAPTEUR DE DEPLACEMENTS LINEAIRES OU ANGULAIRES  
SANS CONTACT

La présente invention a pour objet un capteur de déplacements linéaires ou angulaires sans contact.

5

Actuellement, pour mesurer un déplacement, qu'il soit linéaire ou circulaire on fait appel principalement à trois techniques différentes:

10 - technique résistive : on utilise un potentiomètre rectiligne ou circulaire qui est certainement le plus ancien des capteurs de déplacements et, aussi le plus simple d'emploi. Son encombrement est légèrement supérieur à sa course électrique, et la grandeur mesurée est une valeur absolue. Son principal inconvénient réside dans la nécessité d'utiliser un curseur qui  
15 frotte sur une piste résistive. Ce frottement, cause d'usure et d'hystérésis, s'accommode mal d'un environnement gras ou poussiéreux.

20 - technique optique : on met en oeuvre des règles et des codeurs optiques qui sont susceptibles de fournir des précisions élevées. Grâce à la finesse de gravure des supports, il est maintenant possible d'obtenir des résolutions meilleures que  $10^{-6}$  pour la pleine échelle de déviation (par exemple sur 20 bits en version numérique). Ces performances sont, bien évidemment, obtenues à l'aide de montages mécaniques extrêmement soignés, et  
25 en faisant appel à des disques ou à des règles en verre d'une très grande propreté. De plus, un capteur optique doit, pour conserver ses qualités dans le temps, être étanche, cette condition étant plus facile à réaliser avec des codeurs angulaires qu'avec des règles rectilignes. Ceci explique, en particulier sur les machines  
30 outils, que le capteur soit, le plus souvent, non pas une règle suivant le déplacement de l'outil ou du chariot, mais un codeur monté en bout de la vis à billes utilisée pour la transformation

du mouvement circulaire du moteur en mouvement rectiligne. La précision du capteur est alors liée à celle de la vis.

5       - Technique inductive : cette technique englobe différents dispositifs allant du capteur à transformateur différentiel jusqu'à la synchro machine. Tous ces capteurs ont en commun de  
10       mettre en jeu des champs magnétiques alternatifs peu sensibles aux conditions d'environnement. En effet, ces capteurs, hormis les particules ferromagnétiques, ne craignent que très peu les poussières, les huiles et autres fluides pouvant être utilisés en milieu industriel. Par contre, ces capteurs inductifs ont en  
15       commun de comporter des bobinages qui les rendent soit encombrants, soit complexes à fabriquer. A part certaines synchro machines à couplage variable ou à réluctance variable, qui peuvent atteindre la résolution des codeurs optiques, les capteurs inductifs sont en général peu précis. Leur avantage principal réside dans leur robustesse, leur insensibilité à l'environnement, et dans l'absence de contact susceptible d'engendrer une usure.

20       La présente invention a pour objet un capteur de déplacements linéaires ou angulaires sans contact, pratiquement aussi peu encombrant et aussi simple à mettre en oeuvre qu'un potentiomètre résistif, présentant une précision du même ordre de grandeur que celle des capteurs optiques, et aussi robuste qu'un capteur inductif, tout en étant d'une réalisation économique.

25       Le capteur de déplacements conforme à l'invention comporte dans un ou plusieurs plans parallèles des éléments réactifs formés ou fixés sur un support isolant et s'étendant dans la direction des déplacements à mesurer, et un curseur ne présentant aucun  
30       contact matériel avec lesdits éléments réactifs, le curseur ou l'ensemble des plans étant solidaire du dispositif dont on mesure les déplacements, la largeur, mesurée transversalement par rapport

à la direction des déplacements, d'au moins une partie des éléments réactifs étant variable dans la plage de mesure, le curseur étant en matériau capable de faire varier la réactance desdits éléments réactifs. La largeur des éléments peut varier  
5 soit progressivement, soit en tout ou rien, soit selon une loi déterminée. Pour améliorer la résolution des éléments à variation progressive de largeur, on utilise deux sortes d'éléments réactifs, les premiers ayant une largeur variant d'une valeur minimale à une extrémité de la plage de mesure à une valeur  
10 maximale à l'autre extrémité de la plage, et les seconds ayant une largeur variant périodiquement d'une valeur maximale à une valeur minimale plusieurs fois dans la plage de mesure.

Selon un mode de réalisation de l'invention, le capteur de  
15 déplacements est du type inductif et les éléments réactifs comportent un circuit primaire couplé à au moins un circuit secondaire, et le curseur est réalisé en matériau ferromagnétique. Selon un autre mode de réalisation, les éléments réactifs du  
20 secondaire sont des couples de circuits identiques, dont la largeur, mesurée transversalement par rapport à la direction de déplacement, de l'un varie en sens inverse de celle de l'autre. Ces couples de circuits peuvent être alimentés symétriquement par transformateur.

25 Selon un autre mode de réalisation de l'invention, les éléments réactifs sont capacitifs, et au moins une partie d'entre eux a une largeur variable le long du déplacement, le curseur étant en matériau à constante diélectrique élevée.

30 La présente invention sera mieux comprise à la lecture de la description détaillée de plusieurs modes de réalisation, pris à titre d'exemples non limitatifs et illustrés par le dessin annexé

sur lequel :

- la figure 1 est une vue en perspective d'un premier mode de réalisation de l'invention,

5 - la figure 2 est une vue en plan du circuit secondaire du capteur de la figure 1, servant à expliquer le fonctionnement de ce capteur,

- la figure 3 est une vue en plan d'un circuit secondaire double pouvant être utilisé dans le capteur de la figure 1,

10 - la figure 4 est une vue en coupe d'un capteur muni du circuit secondaire double de la figure 3,

- les figures 5 à 7 sont des vues similaires à celle de la figure 4 et montrant d'autres modes de réalisation du circuit magnétique du capteur de l'invention.

15 - la figure 8 est une vue en perspective d'un autre mode de réalisation du capteur de l'invention avec un circuit secondaire double,

- la figure 9 est une vue en plan d'un autre mode de réalisation d'un circuit secondaire double conforme à l'invention,

20 - la figure 10 est une vue en plan d'un capteur angulaire conforme à l'invention,

- la figure 11 est un schéma simplifié du dispositif de traitement électronique associé au capteur de l'invention,

- les figures 12 à 17 sont des schémas de différentes parties du dispositif de la figure 11,

25 - la figure 18 est une vue en plan simplifiée de deux circuits secondaires d'un capteur inductif conforme à l'invention,

- la figure 19 est une vue schématique éclatée et en perspective d'un mode de réalisation capacitif du capteur conforme à l'invention,

30 - la figure 20 est une vue en plan de circuits secondaires "numériques" d'un capteur conforme à l'invention,

- la figure 21 est un schéma d'un autre mode d'alimentation

des circuits du capteur de l'invention,

-la figure 22 est une vue en plan simplifiée d'une variante du capteur de la figure 18,

5 -la figure 23 est une vue en bout d'une variante de réalisation du curseur du capteur de l'invention,

-la figure 24 est une vue schématique en perspective d'une variante du capteur de la figure 19,

-la figure 25 est un schéma du circuit électrique associé au capteur de la figure 24, et

10 -la figure 26 est une vue en plan d'une variante de réalisation d'un circuit inductif du capteur de l'invention.

Le capteur de l'invention, schématiquement représenté en figure 1 comporte essentiellement : un support isolant plan 1 de  
15 forme rectangulaire sur lequel sont tracées deux pistes de circuit imprimé 2 (circuit primaire) et 3 (circuit secondaire), et un curseur 4 en matériau ferromagnétique en forme de U disposé à cheval sur le support 1 sans contact avec lui, de façon que les  
20 jambes latérales du U s'étendent parallèlement aux grandes faces du support 1 et perpendiculairement à ses grands côtés, sur toute la largeur de ce support. Le curseur 4 se déplace longitudinalement par rapport au support 1, avec un jeu constant par rapport à ce support. Le support 1 est fixe, et le curseur 4 est solidaire du dispositif dont on mesure les déplacements, toutefois il est  
25 bien entendu que le curseur pourrait être fixe et le support 1 mobile, ce qui est valable pour tous les modes de réalisation décrits ici.

Le circuit 2 est en forme de U, ses jambes latérales  
30 s'étendant le long des grands côtés du support 1. Les extrémités du circuit 2 sont référencées 2A, 2B. Le circuit secondaire 3 est tracé à l'intérieur du circuit 2. Il a une forme de V s'étendant

dans la direction longitudinale du support 1. Ses extrémités sont  
référencées 3A et 3B et sont proches des extrémités 2A et 2B  
respectivement. Toutefois, comme décrit ci-dessous, le circuit  
primaire peut être tracé sur une face du support 1, et le circuit  
5 secondaire sur son autre face, ou même sur un autre support de  
mêmes dimensions et forme que le support 1 et plaqué contre ce  
support 1 pour former une structure multicouches.

Le circuit primaire 2 est alimenté en courant alternatif. Du  
10 fait du couplage inductif entre les circuits 2 et 3, une tension  
alternative est donc induite dans le circuit 3. Cette tension  
induite est à la fois proportionnelle à l'intensité du courant  
primaire et à la surface  $s$  traversée par le flux  $\Phi$  induit par le  
courant primaire.  $B$  étant l'induction produite par le courant  
15 primaire  $i$ ,  $\mu_0$  étant la perméabilité de l'air, et  $s_1$  étant la  
surface traversée par le flux primaire total en l'absence du  
 curseur 4, on peut écrire :

$$\Phi = B.s = k_1 \cdot \mu_0 \cdot i \cdot s_1 \quad (1)$$

et:

$$20 \quad e = \frac{-d\Phi}{dt} = -k_1 \cdot \mu_0 \cdot \frac{di}{dt} \cdot s_1 \quad (2)$$

$k_1$  étant un facteur de proportionnalité, et la tension secondaire  
induite  $e$  s'écrit, en présence du curseur 4 en matériau  
ferromagnétique, qui renforce localement le flux :

$$25 \quad e = -(k_1 \cdot \frac{di}{dt} \cdot \mu_0 \cdot s_1 + k_2 \cdot \frac{di}{dt} \cdot \mu_r \cdot s_2) \quad (3)$$

$\mu_r$  étant la perméabilité du matériau du curseur 4,  $k_2^*$  et  $s_2$  étant,  
comme indiqué en figure 2, la surface, de largeur  $\ell$  traversée par  
le flux secondaire sous le curseur 4.

30 La tension  $e$  mesurée aux bornes du circuit secondaire 3 est  
ainsi la somme de deux termes :

- un terme constant dû au couplage à travers l'air entre le

\* étant un facteur de proportionnalité



circuit primaire et toute la surface du circuit secondaire,

- un terme variable dont l'amplitude dépend de la surface "vue" par le curseur entre les deux branches du circuit secondaire. Ce circuit secondaire ayant une forme triangulaire, cette surface est directement proportionnelle à l'abscisse  $x$  du curseur par rapport à ce circuit secondaire. On peut alors écrire :

$$e = e_1 + ax + b \quad (4)$$

$a$  et  $b$  étant des coefficients de proportionnalité qui dépendent de l'ouverture du triangle formant le circuit secondaire, de la largeur et de la perméabilité du matériau du curseur, et  $e_1$  étant un terme constant dépendant du couplage dans l'air entre circuits primaire et secondaire.

Le capteur décrit ci-dessus en référence aux figures 1 et 2, à un seul circuit secondaire, peut fonctionner, mais il est relativement difficile d'éliminer, dans l'expression donnant  $e$ , le terme constant et de rendre la mesure insensible aux paramètres extérieurs.

Le mode de réalisation représenté en figure 3 permet de remédier à ces inconvénients, grâce à la présence de deux circuits secondaires disposés de telle façon que les tensions  $V_1$  et  $V_2$  induites à leurs bornes varient en sens inverses lorsque le curseur se déplace. Sur cette figure 3 on n'a représenté que les deux circuits secondaires 5 et 6 sur le support 1'. Ces deux circuits secondaires sont imprimés sur l'une des faces du support 1', comme représenté sur les figures 4 à 7, le circuit primaire (non visible sur la figure 3) étant imprimé sur l'autre face. Les circuits 5 et 6 ont tous deux une forme de V et sont disposés tête-bêche, une de leurs branches étant proche du grand côté du support 1' et parallèle à celui-ci, leur autre branche étant

disposée suivant une diagonale du rectangle formé par le support rectangulaire 1'.

En supposant que les deux circuits secondaires 5,6 sont identiques, on peut écrire :

$$V_1 = e_1 + ax + b \quad (5)$$

$$V_2 = e_2 - ax + b \quad (6)$$

( on a :  $-a.x$  parce que les deux secondaires s'élargissent en sens inverses, et donc que les tensions à leurs bornes varient en sens inverses).

Si l'on relie en opposition les deux circuits secondaires 5 et 6, la tension  $V_d$  résultante est alors :

$$V_d = V_1 - V_2 = 2.ax \quad (7)$$

Ainsi, non seulement on élimine le terme constant, mais on double la sensibilité du capteur. En outre, ainsi que précisé ci-dessous en référence à la figure 14, en divisant  $V_d$  par la somme  $V_s = V_1 + V_2$ , on peut rendre la mesure indépendante du courant primaire.

Ainsi que représenté en figure 4, on peut utiliser un support 7 en matériau isolant imprimé sur ses deux faces, l'une comportant le circuit primaire 2 et l'autre les deux circuits secondaires référencés 5 et 6. Dans ce cas, ainsi que dans tous les autres cas décrits ici, les circuits primaire et secondaires sont réalisés selon tout procédé approprié, par exemple par gravure chimique d'une plaque ou feuille isolante métallisée sur une de ses faces, ou sur ses deux faces le cas échéant, ou par dépôt métallique sur un support isolant, ou à l'aide de fils tendus sur des picots formés ou fixés sur un support isolant (voir figure 26). Bien entendu, le support isolant et les matériaux conducteurs des circuits réactifs ont des coefficients de dilatation thermique les plus faibles possible.

On a représenté sur les figures 5 à 7 d'autres configurations du circuit magnétique du capteur de l'invention, le circuit électrique (circuit primaire et circuits secondaires avec leur support) pouvant avoir l'une quelconque des configurations décrites aussi bien ci-dessus que ci-dessous.

A la figure 5, le curseur ferromagnétique en U a été remplacé par une plaque rectangulaire 8 en matériau ferromagnétique disposée d'un côté du support isolant 9 et s'étendant sur toute la longueur de ce support, et un curseur 10 comportant une partie centrale 10A s'étendant perpendiculairement aux grands côtés du support, le long d'une grande face de ce support, et deux petites jambes 10B, 10C rejoignant la plaque 8, sans la toucher. Le support 9 est similaire au support 7, et porte des circuits primaire et secondaires ayant l'une quelconque des configurations décrites ici.

Selon le mode de réalisation de la figure 6, la partie fixe 11 du circuit magnétique comporte, en plus d'une partie centrale 11A en forme de plaque plane s'étendant sur toute la surface du support 9, deux rebords latéraux 12,13 rejoignant le curseur 14 qui a simplement une forme de I.

Selon le mode de réalisation de la figure 7, le circuit magnétique ne comporte qu'un curseur 15 en forme de I. Le flux induit par le circuit primaire se referme en grande partie dans l'air, ce qui diminue la sensibilité du capteur, mais en simplifie la réalisation. On a représenté en figure 8 une vue en perspective d'un tel capteur, vu du côté des circuits secondaires 5 et 6. On peut alors établir une certaine analogie entre ce capteur et un potentiomètre rectiligne, la différence étant que dans le cas de l'invention, il n'y a aucun contact matériel entre le curseur et

le circuit électrique.

On a représenté en figure 9 une variante à circuit électrique double face du mode de réalisation de la figure 3. Sur cette figure 9, les deux circuits secondaires ne sont pas électriquement isolés l'un de l'autre. Ce double circuit secondaire comporte un tracé en U dont les branches 16,17 s'étendent le long des grands côtés du support rectangulaire 9, à proximité de ces grands côtés, et dont la branche centrale 18 s'étend le long d'un petit côté du support 9. Une diagonale 19 part d'un des angles du U avec lequel elle est en contact électrique, par exemple près de la jonction des branches 16 et 18, et s'étend diagonalement jusqu'à l'autre petit côté du support 9. Les extrémités du circuit en U sont référencées 20 et 21, et l'extrémité libre de la diagonale 19 est référencée 22. Les bornes de sortie du premier secondaire sont alors 20 et 22, et les bornes de sortie de l'autre secondaire sont 21 et 22. On peut ainsi regrouper le long d'un même petit côté du support 9 toutes les sorties secondaires.

Selon une autre caractéristique de l'invention, non représentée, on peut utiliser plusieurs circuits secondaires simples (comme celui de la figure 1) ou doubles (comme celui de la figure 3 ou 9), imprimés chacun sur son propre support isolant, les différents supports étant empilés en couches. Les différents circuits secondaires sont alors reliés en série, ce qui permet d'augmenter la sensibilité du capteur de l'invention.

On a représenté en figure 10 un capteur de déplacements angulaires conforme à l'invention. Ce mode de réalisation se déduit aisément du mode de réalisation linéaire, les circuits primaire et secondaires étant enroulés circulairement, et le curseur étant disposé radialement et se déplaçant angulairement

au-dessus des circuits électriques. En figure 10, on a représenté des circuits électriques similaires à ceux de la figure 1, avec un seul circuit secondaire, mais il est bien entendu que ce capteur pourrait comporter plusieurs circuits secondaires. Les circuits électriques sont tracés sur un support 23 circulaire, et le curseur radial est référencé 23A.

Le circuit primaire 24 est essentiellement formé de deux cercles concentriques 24A, 24B interrompus à la hauteur d'un même rayon, l'un (24A) ayant presque le même diamètre que le support 23, et l'autre (24B) ayant un diamètre nettement inférieur. Ces cercles sont radialement reliés entre eux à l'une de leurs extrémités liaison 24C, leurs autres extrémités étant reliées à des bornes 24D, 24E, constituant les bornes d'alimentation du circuit primaire. Le circuit secondaire 25 comporte deux spirales 25A, 25B commençant en un point commun 25C près de la liaison radiale 24C des extrémités des cercles 24A, 24B, à mi-distance de ces extrémités. La spirale 25A se dirige vers l'extrémité du cercle 24A reliée à 24E, et l'autre spirale 25B se dirige vers l'extrémité du cercle 24B reliée à 24D. Les extrémités de ces spirales sont reliées à des bornes 25D et 25E. Le centre du support 23 peut être évidé (trou 27).

Le circuit magnétique (curseur et éventuellement plaque ferromagnétique disposée contre la face opposée du support 23) peut avoir des configurations similaires à celles décrites ci-dessus en référence aux figures 4 à 7, l'un des rebords, s'ils existent, de la plaque ou du curseur passant dans le trou 27.

Le circuit électrique de ce capteur angulaire peut avoir une configuration déduite de l'une quelconque des configurations linéaires décrites ci-dessous et ci-dessus.

Un potentiomètre résistif n'est utilisable que sur environ 340°, et de même la zone de raccordement aux pistes d'un potentiomètre inductif classique en limite la plage de mesure. Par contre, dans le capteur de la présente invention, puisqu'il n'y a pas de contact entre le curseur et le circuit électrique, le curseur peut passer au-dessus de cette zone de raccordement sans inconvénient : son débattement n'est donc pas limité. En outre, l'utilisation de circuits imprimés multicouches permet de disposer les circuits primaire et secondaires dans des plans parallèles différents. On peut ainsi réduire à sa plus faible valeur la zone de raccordement de chacun des circuits électriques, et donc limiter fortement la zone "morte" du capteur.

Selon une variante (non représentée) du capteur inductif de l'invention, le curseur est une boucle conductrice fermée absorbant les courants de Foucault créés par le circuit primaire, ce qui modifie localement le flux traversant le ou les circuits secondaires.

On a schématiquement présenté en figure 11 le circuit électronique de traitement associé au capteur de l'invention. Ce circuit de traitement comprend essentiellement : un dispositif d'excitation 28 relié au circuit primaire P, le (ou les) circuit(s) secondaire(s) S du capteur étant relié(s) à un démodulateur 29 suivi d'un circuit 30 de linéarisation.

Le capteur de l'invention étant nécessairement alimenté en courant alternatif, et son circuit primaire P ayant une impédance très faible, le circuit d'excitation 28 représenté plus en détail en figure 12, doit lui assurer une alimentation en courant. Ceci est obtenu grâce à un transformateur d'alimentation en courant 28A dont l'enroulement primaire, à grand nombre de spires de fil fin,

est alimenté en tension par un oscillateur 28B, et dont le circuit secondaire comportant quelques spires de gros fil est directement relié au circuit primaire P. Le transformateur 28A peut être directement implanté sur le circuit imprimé du capteur. On évite ainsi de véhiculer un courant fort (plusieurs centaines de milli-ampères par exemple) à fréquence élevée (par exemple 50 kHz) dans des fils de liaison entre le transformateur et le circuit P. L'oscillateur 28B peut être de tout type connu, il suffit qu'il délivre une tension sinusoïdale stable en amplitude et en fréquence.

Pour expliquer le fonctionnement du circuit de démodulation 29, on va revenir de manière plus détaillée sur la relation (3) ci-dessus.

Le circuit primaire P est parcouru par un courant alternatif  $i$  de la forme :

$$i = i_m \sin \omega t \quad (8)$$

d'où la valeur  $e$  de la tension à ses bornes :

$$e = -i_m \omega \cos \omega t (k_1 \mu_0 s_1 + k_2 \mu_r s_2) \quad (9)$$

relation, qui compte tenu de la relation (4) peut s'écrire pour chacun des circuits secondaires :

$$V_1 = -i_m \omega \cos \omega t (k_1 \mu_0 s_1 + \mu_r a_1 x + \mu_r b_1) \quad (10)$$

$$V_2 = -i_m \omega \cos \omega t (k_1 \mu_0 s_1 + \mu_r a_2 x + \mu_r b_2) \quad (11)$$

On retrouve dans les relations (10) et (11) :

- un terme fonction du déplacement du curseur :

$$V_d = -i_m \omega \cos \omega t \mu_r (a x + b) \quad (12)$$

c'est-à-dire le signal utile, et un terme constant :

$$V_c = -i_m \omega \cos \omega t k_1 \mu_0 s_1 \quad (13)$$

Le terme  $V_d$ , qui est fonction du déplacement du curseur,

n'est utilisable de manière fiable qu'après amplification. Or, si on ne prend pas de précaution préalable, on amplifie également le terme constant dont l'amplitude est déjà supérieure à celle du terme variable. Si cette amplification est trop élevée, on risque  
 5 de saturer les amplificateurs correspondants.

Selon une autre caractéristique de l'invention, on commence par extraire le signal variable, seul utile, avant de l'amplifier. Ceci est mis en oeuvre grâce au circuit schématiquement représenté  
 10 en figure 13.

Sur cette figure 13, un amplificateur opérationnel 31 reçoit le signal de l'oscillateur du circuit d'excitation 28. Un potentiomètre 32 relié à la sortie de l'amplificateur 31 permet de  
 15 prélever une fraction de sa tension de sortie. Les circuits secondaires 5 (tension  $V_1$ ) et 6 (tension  $V_2$ ) sont reliés chacun à un amplificateur opérationnel 33, 34 respectivement. Les sorties des amplificateurs 33 et 34 sont respectivement reliées à une entrée d'un amplificateur 35, 36 respectivement, ces entrées de  
 20 35 et 36 étant par ailleurs reliées à une borne E, elle-même reliée au curseur du potentiomètre 32, sur lequel est prélevée une tension  $V_p$ .

L'amplificateur 31 est monté en déphaseur. La tension de sortie  $V_p$  peut être rendue égale, en phase (potentiomètre 37 relié  
 25 à l'une de ses entrées), et en amplitude (ajustage du potentiomètre 32) au terme constant de la relation (13), et l'on a alors  $V_p - V_c = 0$ . Les amplificateurs 35 et 36 effectuent la somme algébrique des deux tensions secondaires amplifiées (par 33 et 34), et on obtient à leurs sorties respectives M et N deux  
 30 tensions  $V_M$  et  $V_N$  desquelles sont éliminés les termes constants et dont les amplitudes ne dépendent plus que des termes variables.

$$\text{En posant : } A_1 \cdot A_3 = A_2 \cdot A_4 = A \quad (14)$$



$$\text{et} \quad : \mu_r \cdot A = g \quad (15)$$

$V_H$  et  $V_N$  s'écrivent :

$$V_H = i_m \cdot g \cdot \omega (a_1 \cdot x + b_1) \cos \omega t \quad (16)$$

$$5 \quad V_N = i_m \cdot g \cdot \omega (-a_2 \cdot x + b_2) \cos \omega t \quad (17)$$

Malgré tout le soin que l'on peut mettre à choisir les composants du dispositif de la figure 13, il subsiste toujours la possibilité d'une dérive en phase et en amplitude de la contre-tension  $V_p$ . De plus, ce dispositif nécessite de régler les deux potentiomètres 32 et 37. Selon la variante avantageuse représentée en figure 13A, la borne E est reliée à un circuit secondaire de "décalage" S' de forme rectangulaire. Ce circuit S' délimite une surface sensiblement égale à celle délimitée par le circuit 5 ou 6. Il est formé sur un support diélectrique de mêmes caractéristiques que celles des autres circuits primaire et secondaires et est plaqué contre eux pour former une structure multicouches. Ainsi, la tension  $V_s$  recueillie aux bornes du circuit S' est induite par le même courant primaire que les tensions recueillies aux bornes de 5 et 6, et varie donc de la même façon que ces dernières. Cette tension  $V_s$  est donc envoyée aux entrées des amplificateurs 35 et 36 pour annuler la tension  $V_c$  telle que détaillée dans la relation (13) ci-dessus, et ce, indépendamment des dérives des composants.

25

Les tensions  $V_H$  et  $V_N$  sont ensuite redressées en double alternance et filtrées par un circuit tel que représenté en figure 14. Sur ce circuit de la figure 14, les sorties des redresseurs 38 et 39 sont reliées chacune à une entrée d'amplificateurs opérationnels 40 et 41 respectivement montés en circuit de soustraction (sortie  $V_d$  de 40) et d'addition (sortie  $V_s$  de 41).

30

Après redressement et filtrage  $V_H$  et  $V_N$  deviennent :

$$V_{HC} = I.g.\omega.(a_1.x + b_1) \quad (18)$$

$$V_{NC} = I.g.\omega.(-a_2.x + b_2) \quad (19)$$

5 La différence  $V_d$  s'écrit :

$$V_d = V_{HC} - V_{NC} = I.g.\omega [(a_1 + a_2).x + (b_1 - b_2)] \quad (20)$$

ce qui montre que le courant dans le circuit primaire et le gain de l'ensemble influent directement sur la stabilité de la mesure.

10

La somme  $V_s$  s'écrit :

$$V_s = V_{HC} + V_{NC} = I.g.\omega[(a_1 - a_2).x + (b_1 + b_2)] \quad (21)$$

15

et elle est par contre indépendante du déplacement du curseur si, par construction (circuits secondaires identiques) ou par réglage (amplificateurs) on réalise la condition :  $a_1 = a_2 = a$  (22)

On obtient alors :

$$V_s = I.g.\omega(b_1 + b_2) \quad (23)$$

20

ce qui fait que si on effectue le rapport de la différence et de la somme, on obtient :

$$V_m = \frac{V_d}{V_s} = \frac{I.g.\omega (2.a.x + b_1 - b_2)}{I.g.\omega (b_1 + b_2)} \quad (24)$$

25

On obtient ainsi une mesure indépendante du courant d'excitation du circuit primaire, et du gain des étages d'entrée 33 et 34.

30

Pour calculer ce rapport de la relation (24), on pourrait utiliser simplement un circuit diviseur, mais un tel circuit ne présente généralement pas la stabilité souhaitée, et son bruit propre peut nuire à la résolution de la mesure.

Selon l'invention, on introduit le terme  $V_s$  (obtenu par le dispositif de la figure 13 ou par celui de la figure 13A) dans une boucle d'asservissement de telle sorte que le terme  $V_s = I.g.\omega(b_1 + b_2)$  demeure constant, ce qui permet de s'affranchir, comme  
5 exposé ci-dessus, des paramètres susceptibles d'influer sur la stabilité de la mesure. On a représenté en figure 15 un mode de réalisation d'une telle boucle d'asservissement.

Sur cette figure 15, un amplificateur 42 monté en oscillateur  
10 à pont de Wien alimente, via un amplificateur 43, le transformateur 28A alimentant lui-même le circuit primaire P. Un amplificateur opérationnel 44 reçoit la tension  $V_s$  ainsi qu'une tension de référence  $V_{ref}$  à laquelle il compare cette tension  $V_s$ . La sortie de l'amplificateur 44 est reliée à un transistor à effet de  
15 champ 45 monté en résistance variable, et relié à une entrée de l'oscillateur 42. La tension de sortie  $\epsilon$  de l'amplificateur 44, qui est fonction de la différence  $V_{ref} - V_s$  commande l'oscillateur 42 dont la tension de sortie est réglée de manière à maintenir constante la tension  $\epsilon$ . Par conséquent, la stabilité de la tension  
20  $V_s$ , donc de l'ensemble du capteur, ne dépend plus que de la stabilité de la tension de référence, qui peut être très bonne avec les générateurs de tension de référence actuels.

Malgré tout le soin apporté à la réalisation des pistes des  
25 circuits imprimés et du guidage du curseur, il subsiste des imperfections de ces éléments. Ces imperfections peuvent être corrigées soit en retouchant mécaniquement les circuits imprimés (par exemple par meulage des pistes pour ajuster localement les caractéristiques des circuits secondaires), soit en traitant  
30 électroniquement les signaux de sortie du dispositif de démodulation 29. Cette dernière possibilité est préférable puisque, de toute façon le capteur nécessite déjà des circuits

électroniques d'exploitation de son signal de sortie, et puisque toute retouche mécanique des circuits imprimés représente une opération longue, difficile et coûteuse, en particulier pour des productions en grande série, et lorsque l'on désire obtenir une  
5 linéarité meilleure que 0,1%.

Selon l'invention et, ainsi que schématiquement représenté en figure 16, on numérise le signal de sortie du démodulateur à l'aide d'un convertisseur analogique/numérique 46 dont le signal  
10 de sortie adresse une mémoire 47 dans laquelle on a préalablement chargé les valeurs que devrait délivrer le capteur s'il était linéaire. Le convertisseur 46 doit, de préférence, présenter une grande résolution, mais il n'a pas besoin d'être particulièrement linéaire puisque la mémoire 47 permet également de corriger ses  
15 non-linéarités.

Selon une variante, au lieu d'effectuer une conversion en tension, on peut effectuer une conversion en fréquence à l'aide d'un convertisseur tension/fréquence, beaucoup plus économique,  
20 suivi d'un compteur adressant une mémoire similaire à la mémoire 47. Selon le mode de réalisation représenté en figure 17, le convertisseur est référencé 48, et il est suivi d'un micro-contrôleur 49 remplaçant avantageusement l'ensemble compteur + mémoire.

25 On a représenté en figure 18 un mode de réalisation de circuits secondaires permettant d'augmenter la résolution du capteur de l'invention, en particulier lors de la mesure de déplacements longs (par exemple 1m. ou plus). Sur cette figure, on  
30 a représenté deux circuits secondaires, mais il est bien entendu qu'il pourrait y en avoir davantage. Pour faciliter les explications et pour simplifier le dessin, ces deux circuits

secondaires ont été tracés sur la même face d'un support rectangulaire 51. Le circuit primaire est par exemple tel que celui représenté en figure 1, mais il est bien entendu que le premier circuit secondaire pourrait occuper entièrement une face du support 51, et l'autre (ou les autres) être tracé(s) sur un autre (d'autres) support(s) de mêmes dimensions que le support 51 et formant avec lui une structure multicouches.

Le premier circuit secondaire 52 a, dans le présent exemple, la forme d'un triangle rectangle s'étendant sur pratiquement toute la longueur du support 51. Le petit côté 50 de ce triangle rectangle (celui parallèle aux petits côtés du support 51) est, dans le cas présent, égal à environ 1/4 de la longueur des petits côtés du support 51, tandis que l'autre côté de ce triangle s'étend parallèlement aux grands côtés du support 51. Bien entendu, au lieu d'un triangle rectangle, on pourrait avoir n'importe quelle autre des configurations de circuit secondaire décrites ci-dessus (configurations simples ou doubles). Ce triangle rectangle est ouvert à son sommet à angle le plus aigu, et les extrémités des conducteurs arrivant à ce sommet, référencées 51A et 51B constituent les bornes de sortie de ce premier circuit secondaire 51.

L'autre circuit secondaire 53 occupe les 3/4 restants de la face représentée du support 51. Ce circuit 53 se présente sous la forme générale d'une rangée de dents de scie à pas régulier. Ce pas est avantageusement une valeur entière de l'unité de mesure ou d'un sous-multiple, et peut par exemple être de 1cm, ou 5cm... La hauteur des dents de scie est pratiquement égale à ladite hauteur restante. La pente des dents de scie est de même sens que celle de l'hypoténuse du triangle 51. Le début de la première dent (celle de droite dans le cas du dessin) est reliée à une borne 53A. La

fin de la dernière dent est reliée par un conducteur 54 (s'étendant sur toute la longueur du support 51, parallèlement à ses grands côtés) à une borne 53B. Les bornes 53A et 53B constituent les bornes de sortie du circuit 53.

5

Le circuit 53 constitue un genre de "vernier" pour le circuit 52. En effet, dans le cas où le support 51 est très long, la pente de l'hypoténuse du triangle 51 est très faible, et la résolution du capteur est mauvaise (un faible déplacement du curseur ne lui fait "voir" qu'une très faible variation de la largeur du triangle 51, ce qui entraîne une très faible variation de la tension aux bornes 52A, 52B). Par contre, la pente des dents de scie du circuit 53 est beaucoup plus grande, donc la résolution apportée par ce circuit est très bonne. Les tensions fournies par les circuits 52 et 53 sont numérisées, et celle fournie par 52 donne les bits de poids forts (correspondant par exemple à des valeurs entières de centimètres), alors que celle fournie par 53 donne les bits de poids faibles (correspondant par exemple à une résolution de 0,1 mm, la valeur maximale des bits de poids faibles correspondant alors à 1 cm.).

10

15

20

Il se peut qu'en pratique la transition d'une valeur à la suivante ou précédente du signal de sortie du circuit 52 ne coïncide pas exactement avec la transition correspondante du circuit 53. Pour éviter des erreurs grossières dues à ce manque de coïncidence, l'invention prévoit de forcer le signal de sortie du circuit 52 à la valeur inférieure lorsque le signal de sortie du circuit 53 est inférieur à sa valeur de transition, et inversement pour les valeurs supérieures. Si on prend par exemple la transition entre 8 et 9, le signal de sortie du circuit 53 donne la séquence: ...0,97 - 0,98 - 0,99 - 0,00 - 0,01 - 0,02 ... Il suffit de forcer le signal de sortie de 52 à 8 pour 0,99 et

25

30

moins (par exemple jusqu'à 0,70) en sortie du circuit 53, et à 9 pour 0,00 et au-dessus (par exemple jusqu'à 0,30). Ces traitements électroniques peuvent être avantageusement associés à un capteur tel que celui de la figure 22 décrite ci-dessous.

5

Le capteur à éléments capacitifs représenté en figure 19 comporte essentiellement deux éléments (électrodes dans ce cas) 60, 61 et un curseur 62 mobile par rapport à ces éléments. L'élément 60 comporte un support rectangulaire diélectrique 63 sur lequel est formée ou rapportée une feuille métallique rectangulaire 64 ayant presque les mêmes dimensions que son support. L'élément 61 comporte un support diélectrique 65 sur lequel est formée ou rapportée une feuille métallique triangulaire 66. Le triangle formé par la feuille 66 est par exemple un triangle isocèle ou rectangle, et sa grande hauteur est parallèle aux grands côtés du support 65. Le curseur 62 est une barrette en matériau à constante diélectrique élevée (par exemple PTFE), et est solidaire de l'objet dont on mesure les déplacements. Bien entendu, le curseur peut être fixe et les éléments 60, 61 mobiles et solidaires de cet objet. Les éléments 60, 61 doivent être le plus proches possible l'un de l'autre pour former un condensateur de valeur facilement mesurable (par exemple au moins plusieurs centaines de pF.). Le curseur 62 se déplace entre les éléments 60, 61, perpendiculairement à leurs grands côtés, avec un jeu minimal. Les déplacements du curseur 62 font varier la capacité du condensateur formé par 60 et 61 du fait de la variation de largeur de l'électrode 66 "vue" alors par le curseur, ce qui introduit entre les deux électrodes 64, 66 une constante diélectrique variable.

30

Les électrodes 64, 66 sont reliées à un dispositif de mesure capable de détecter des variations de capacité d'un condensateur,

par exemple un pont de mesure de condensateurs, ou un oscillateur dont on fait alors varier la fréquence d'accord. Le signal de sortie de ce dispositif de mesure est étalonné, de façon évidente pour l'homme du métier, en valeurs de distances.

5. Bien entendu, les configurations de circuits secondaires simples ou multiples décrites ci-dessus pour les modes de réalisation inductifs peuvent être transposées en formes d'électrodes. Ainsi, par exemple, les conducteurs des circuits 5, 6 de la figure 3 sont alors transposés en deux électrodes  
10 triangulaires pleines dont deux des côtés correspondent aux deux parties rectilignes des conducteurs 5, 6 respectivement, le troisième côté des électrodes triangulaires correspond à une ligne qui joindrait les extrémités libres de ces deux parties rectilignes. Bien entendu, il en est de même pour les  
15 configurations circulaires. Si le capteur capacitif comporte plusieurs éléments tels que 61 pour en augmenter la capacité et donc la sensibilité, il doit, bien entendu comporter autant d'éléments tels que 60 et autant de curseurs, tous solidaires entre eux.

20 On a schématiquement et partiellement représenté en figure 20 un mode de réalisation inductif "numérique" du capteur de l'invention. Ce mode de réalisation pourrait tout aussi bien être capacitif. Le circuit primaire (non représenté) de ce capteur a la  
25 configuration décrite ci-dessus. Pour simplifier le dessin, on a représenté sur la figure 20 un mode de réalisation à trois circuits secondaires 67, 68, 69, mais dans la réalité, il est préférable d'en utiliser un plus grand nombre (par exemple 20 ou plus) pour obtenir une bonne résolution.

30 Chacun des circuits secondaires 67 à 69 est tracé sur une face d'un support isolant, respectivement 70 à 72. Pour la clarté



du dessin, les supports sont dessinés l'un au-dessous de l'autre, et gravés sur une seule face, mais dans la réalité, ils sont avantageusement gravés sur les deux faces (avec un circuit secondaire différent sur chaque face, bien entendu) et plaqués les  
5 uns contre les autres pour former une structure multicouches.

Chaque circuit secondaire 67 à 69 a la forme d'une suite de créniaux rectangulaires réguliers. Une des extrémités de chaque suite est directement reliée à une borne (67A à 69A respectivement), et l'autre extrémité est reliée par un conducteur  
10 rectiligne, parallèle à un grand côté du support correspondant et proche de ce côté, à une autre borne proche de la première (67B à 69B respectivement). Ces bornes constituent les bornes de sortie du circuit correspondant. Chacun de ces circuits fournit un signal qui est ensuite traité comme un poids de "bit" d'un signal binaire  
15 classique. Il est évident que la résolution du capteur est fonction du nombre de ces bits, donc du nombre de circuits secondaires. Pour que l'on puisse obtenir globalement un signal binaire à N bits ( N= nombre de circuits secondaires), il faut décaler les différents circuits secondaires les uns par rapport  
20 aux autres d'une distance  $D = C/N$ , C étant le pas des créniaux (les différents supports isolants doivent, bien sûr, être empilés très minutieusement afin que ce décalage soit bien respecté). La résolution est alors égale à D.

25 Si le signal fourni par ce capteur de la figure 20 n'est pas rectangulaire en fonction des déplacements du curseur, par suite d'une action insuffisamment concentrée du curseur (curseur trop large), on peut mettre en forme électroniquement ce signal et/ou  
30 modifier la forme des circuits secondaires pour obtenir le résultat désiré.

Selon une caractéristique avantageuse de l'invention, les

différents circuits sont disposés de façon à fournir un signal binaire codé tel que pour tous les poids binaires les transitions 0/1 et 1/0 aient la même périodicité (sinon, les bits de poids faibles changeraient avec une période très courte, ce qui poserait des problèmes importants de gravure des circuits et de guidage du curseur, tandis que les bits de poids les plus élevés changeraient avec une période très longue, et seraient beaucoup plus faciles à réaliser). On peut par exemple mettre en oeuvre un code du type "Gray", pour lequel un seul bit change lorsque l'on passe d'une valeur à la suivante. Par exemple sur trois bits, on aurait des séquences telles que: ....000-001-011-111-110-100-000-001-....

Pour l'exemple de la figure 20, les circuits 67 à 69 fourniraient les bits de poids respectifs 0, 1 et 2. En outre, avec un tel code, le sens du déplacement est implicitement contenu dans le code.

Sur la figure 20, si l'on suppose que le curseur occupe d'abord une position référencée P1, il détermine un 0 pour chacun des trois circuits puisqu'il "voit" une section presque nulle de chacun de ces circuits. Le signal de sortie de l'ensemble de ces circuits est alors 000. Dans la position P2 représentée sur le dessin, le curseur "voit" une section maximale de 67 et 68 et une section presque nulle de 69. le signal de sortie est alors 011 (deux incréments depuis la position P1). Pour obtenir des mesures de longueurs, il suffit d'étalonner les incréments du signal délivré par l'ensemble des circuits secondaires et de compter le nombre de périodes du code balayées par le curseur depuis l'une des extrémités des supports, c'est-à-dire de compter une unité à chaque fois que le code repasse par une valeur déterminée (000 pour l'exemple simplifié ci-dessus).

On a représenté en figure 21 un autre mode de réalisation à

éléments inductifs ne comportant pas de circuit primaire, mais un circuit "secondaire" double alimenté symétriquement par un transformateur. Bien entendu, ce transformateur peut alimenter en parallèle plusieurs autres circuits doubles. Un oscillateur 73 alimente l'enroulement primaire d'un transformateur 74. Ce transformateur comporte un enroulement secondaire à point milieu 74A, les extrémités de cet enroulement étant référencées 74B, 74C. Le circuit "secondaire" double 75 est, dans le cas présent, le même que celui représenté en figure 9. Ce circuit se compose des circuits individuels 75A, 75B d'impédances respectives  $Z_1$ ,  $Z_2$ . L'extrémité de la branche commune 76 de ces circuits individuels est référencée 75C, et leurs deux autres extrémités sont référencées 75D et 75E. On relie les extrémités 75C à 75E aux bornes 74A à 74C respectivement.

La tension  $V_m$  mesurée entre 75C et la masse a pour expression:

$$V_m = \frac{e}{2} \cdot \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \quad (25)$$

$e/2$  étant la tension aux bornes de chaque demi-enroulement secondaire du transformateur 74. En première approche, si l'on considère que les deux circuits 75A, 75B sont rigoureusement identiques, et que leurs impédances sont des fonctions linéaires du déplacement  $x$  à mesurer, on peut écrire:

$$Z_1 = a \cdot x + b \quad (26)$$

$$Z_2 = -a \cdot x + b \quad (27)$$

d'où:

$$V_m = \frac{e}{2} \cdot \frac{a \cdot x}{b} \quad (28)$$

La relation (28) montre, qu'en simplifiant à l'extrême, on obtient que non seulement  $V_m$  est une fonction de  $x$ , mais sa variation est linéaire. En réalité, on ne peut éviter des imperfections des

éléments utilisés, et les non-linéarités peuvent être compensées par un traitement numérique, comme décrit ci-dessus.

5        Selon un autre aspect de l'invention, le circuit primaire  
et/ou les circuits secondaires peuvent avoir une largeur variant  
selon une loi déterminée (ou, pour le mode de réalisation de la  
figure 20, un pas variant selon une loi déterminée), par exemple  
pour compenser une loi de variation non linéaire de la grandeur à  
mesurer, ou bien pour obtenir une transition nette entre deux  
10        valeurs consécutives. Dans ce dernier cas, qui est une variante  
avantageuse du cas de la figure 18, et qui est illustré en figure  
22, le secondaire "grossier" 52A a une forme en marches d'escalier  
et les transitions verticales entre deux "marches" consécutives  
coïncident avec les transitions verticales du secondaire "fin"  
15        53A.

      Dans le cas des modes de réalisation à circuits inductifs et  
 curseur ferromagnétique, ce dernier peut avoir une forme  
favorisant une concentration spatiale de son effet. Ainsi que  
20        schématiquement représenté en figure 23, le curseur 77 peut avoir  
une section par exemple triangulaire, une de ses arêtes,  
référéncée 78, étant dirigée vers le support isolant 79 à éléments  
réactifs.

25        Selon un autre mode de réalisation, non représenté, le  
 curseur peut faire <sup>partie</sup> d'un circuit magnétique parcouru par le flux  
créé par un bobinage auxiliaire. Une telle solution nécessite  
cependant d'alimenter en énergie le bobinage auxiliaire.

30        Selon le mode de réalisation capacitif de la figure 24, on  
forme une électrode 80 sur un support 81, et sur un autre support  
isolant 82, ayant sensiblement les mêmes dimensions que le support

81 et disposé en face de celui-ci, on forme deux électrodes triangulaires identiques 83, 84. Un curseur 85 en matériau à forte constante diélectrique se déplace entre ces deux plans d'électrodes.

5

Comme représenté sur le schéma de la figure 25, on inclut ce capteur dans un pont de mesure 86 alimenté par une source de tension alternative 87. La source 87 est reliée aux sommets 88, 89 du pont 86. Les deux autres sommets de ce pont sont référencés 90, 91. Les électrodes 80, 83 et 84 sont respectivement reliées aux sommets 90, 88, 89. Le sommet 91 est relié au sommet 88 par une résistance 92, et au sommet 89 par une résistance 93. Les résistances 92 et 93 sont égales. Eventuellement, l'une d'elles peut être réglable. On recueille la tension de sortie entre 90 et 91.

10

15

Selon une variante de l'invention, les circuits inductifs secondaires peuvent faire partie chacun d'un circuit oscillant, les variations d'inductance par suite du déplacement relatif du curseur entraînant des variations de fréquence de circuit oscillant. Il est aisé de convertir ces variations de fréquence en longueurs de déplacement.

20

Comme représenté en figure 26, on peut réaliser les circuits secondaires en bobinant plusieurs spires de fil conducteur 94 sur des picots 95 à 97 disposés selon les sommets d'un triangle de façon à conférer à ces spires l'une des formes de circuits inductifs décrites ci-dessus. Les extrémités du fil de bobinage sont reliées à des bornes 98, 99.

25

30

## REVENDEICATIONS

1. Capteur de déplacements linéaires ou angulaires sans contact, caractérisé par le fait qu'il comporte dans un ou plusieurs plans parallèles des éléments réactifs (2, 3, 5, 6, 16 à 19, 24, 25, P.S, 52, 53, 64, 66, 67 à 69) formés ou fixés sur un support isolant (1, 1', 7, 9, 23, 51) et s'étendant dans la direction des déplacements à mesurer, et un curseur (4, 15, 23A, 62) ne présentant aucun contact matériel avec lesdits éléments réactifs, le curseur ou l'ensemble des plans étant solidaire du dispositif dont on mesure les déplacements, la largeur, mesurée transversalement par rapport à la direction des déplacements, d'au moins une partie des éléments réactifs étant variable dans la plage de mesure, le curseur étant en matériau capable de faire varier la réactance desdits éléments réactifs.

2. Capteur selon la revendication 1, caractérisé par le fait que la largeur des éléments réactifs varie progressivement (fig. 1 à 3, fig. 8 à 10, fig. 18 et 19).

3. Capteur selon la revendication 1, caractérisé par le fait que la largeur des éléments réactifs varie en tout ou rien (fig. 20).

4. Capteur selon la revendication 1, caractérisé par le fait que la largeur des éléments réactifs varie selon une loi déterminée (fig. 22).

5. Capteur selon la revendication 1, 2 ou 4, caractérisé par le fait qu'il comporte deux sortes d'éléments réactifs, les premiers (52, 52A) ayant une largeur variant d'une valeur minimale à une extrémité de la plage de mesure à une valeur maximale à l'autre extrémité de la plage, et les seconds (53, 53A) ayant une

largeur variant périodiquement d'une valeur maximale à une valeur minimale plusieurs fois dans la plage de mesure.

5 6. Capteur selon l'une des revendications précédentes, caractérisé par le fait que les éléments réactifs sont du type inductif, et comportent un circuit primaire (2, R, 24) couplé inductivement à au moins un circuit secondaire (3, 5-6, 16-19, 25, S, 52-53, 67-69, 75A-75B), le curseur étant en matériau ferromagnétique.

10

7. Capteur selon la revendication 6, caractérisé par le fait que les éléments réactifs couplés au circuit primaire sont des couples de circuits identiques dont la largeur, mesurée transversalement par rapport à la direction du déplacement, de l'un varie en sens inverse de celle de l'autre (fig.3, fig. 8 à 10 ).

15

8. Capteur selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé par le fait que les éléments réactifs sont du type inductif, qu'ils comportent des couples de circuits identiques dont la largeur, mesurée transversalement par rapport à la direction du déplacement, de l'un varie en sens inverse de celle de l'autre, et qu'ils sont alimentés symétriquement (fig. 21).

20

9. Capteur selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé par le fait que les éléments réactifs sont capacitifs, et qu'au moins une partie d'entre eux a une largeur variable le long du déplacement (66), le curseur étant en matériau à constante diélectrique élevée.

25

10. Capteur selon l'une des revendications 1, 2, 3 ou 5 à 9, caractérisé par le fait qu'il est relié à un circuit de traitement comportant un démodulateur (29) suivi d'un circuit de

30

linéarisation (30).

5 11. Capteur selon la revendication 10, caractérisé par le fait qu'il comporte des couples de circuits identiques dont la largeur, vue dans le sens du déplacement, de l'un varie en sens inverse de celle de l'autre (fig. 3 et 8 à 10, fig 21), et que le démodulateur comporte un dispositif d'amplification symétrique (33-35, 34-36) relié à chacun des circuits du couple et à une borne (E) recevant une tension qui est fonction de la tension  
10 d'alimentation des éléments réactifs (31, S').

12. Capteur selon la revendication 11, caractérisé par le fait que ladite borne (E) est reliée à un élément réactif de "décalage" (S') dont la surface est sensiblement égale à celle  
15 d'un des éléments réactifs du couple.

13. Capteur selon la revendication 11 ou 12, caractérisé par le fait qu'une tension proportionnelle à la somme des tensions fournies par les deux éléments réactifs du couple est utilisée  
20 dans une boucle d'asservissement (Fig. 15) de la tension d'alimentation des éléments réactifs.

14. Capteur selon l'une des revendications 10 à 13, caractérisé par le fait que le circuit de linéarisation comporte un convertisseur analogique/ numérique (46) suivi d'une mémoire (47)  
25 dans laquelle on a préalablement chargé les valeurs que devrait délivrer le capteur s'il était linéaire.

15. Capteur selon l'une des revendications 10 à 13, caractérisé par le fait que le circuit de linéarisation comporte un convertisseur tension/ fréquence (48) suivi d'un compteur et d'une mémoire dans laquelle on a préalablement chargé les valeurs que  
30



devrait délivrer le capteur s'il était linéaire.

5 16. Capteur selon l'une des revendications 10 à 13, caractérisé par le fait que le circuit de linéarisation comporte un convertisseur tension/ fréquence (48) suivi d'un micro-contrôleur (49).

10 17. Capteur selon l'une des revendications 3 à 6 ou 9, caractérisé par le fait qu'il est relié à un circuit de traitement numérique dont chaque poids d'entrée est relié à un élément réactif.

15 18. Capteur selon la revendication 9, caractérisé par le fait qu'il est relié à un dispositif de mesure de variations de capacités.

20 19. Capteur selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisé par le fait que des éléments inductifs sont reliés à un circuit oscillant.

25

30

35

1/7

FIG. 1

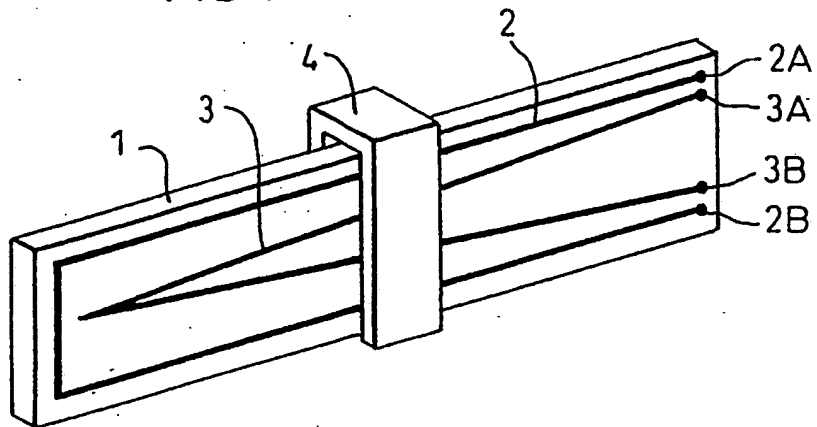


FIG. 2

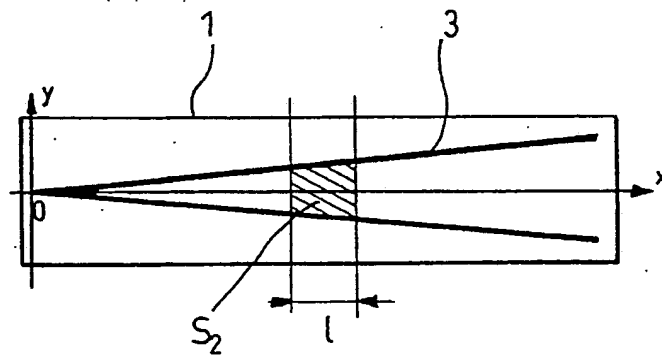
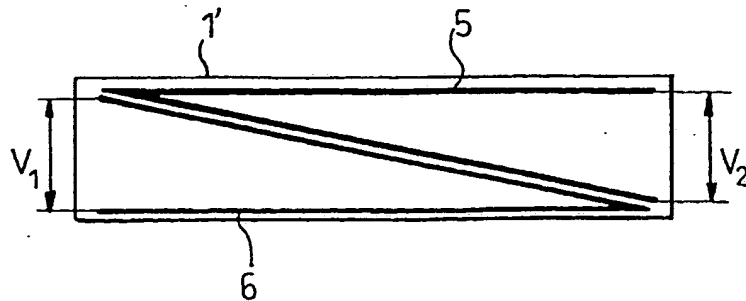


FIG. 3



2/7

FIG. 4

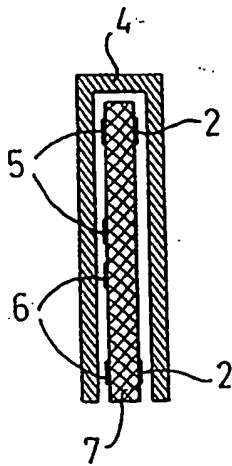


FIG. 5

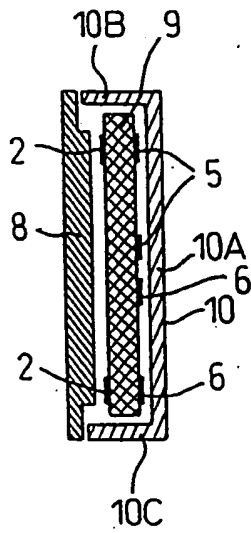


FIG. 6

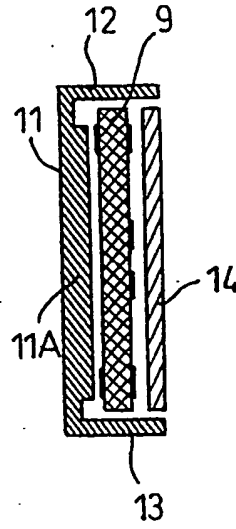


FIG. 7

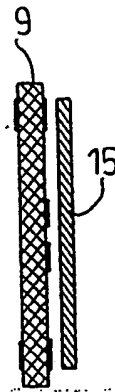


FIG. 8

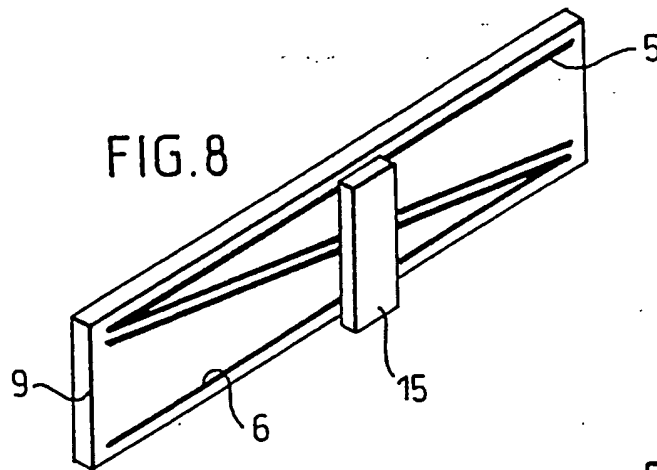
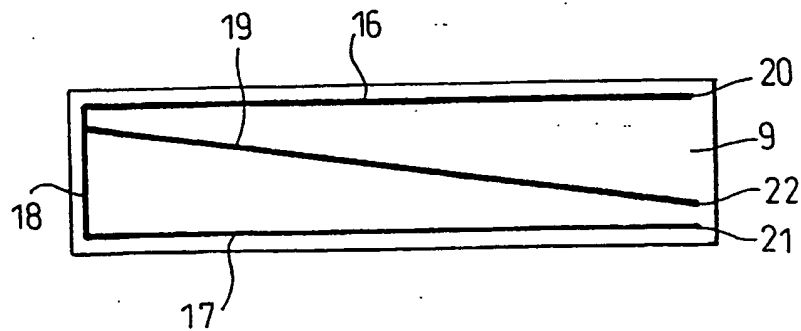


FIG. 9



3/7

FIG.10

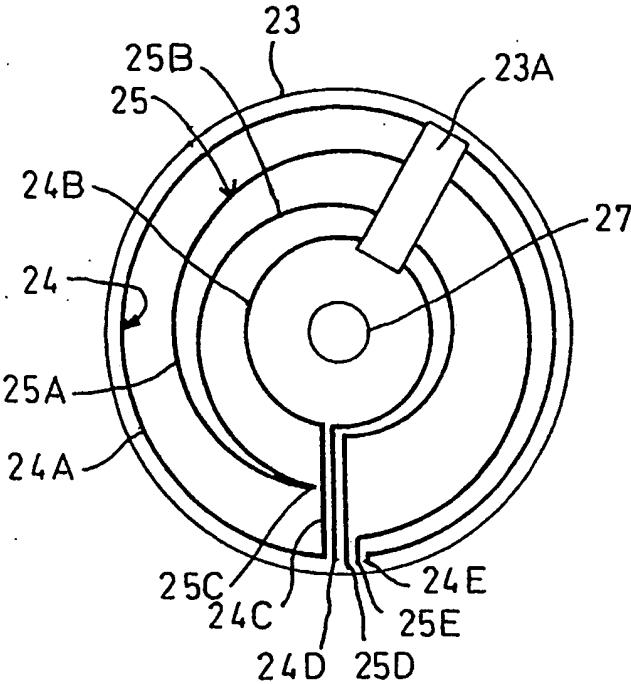


FIG.11

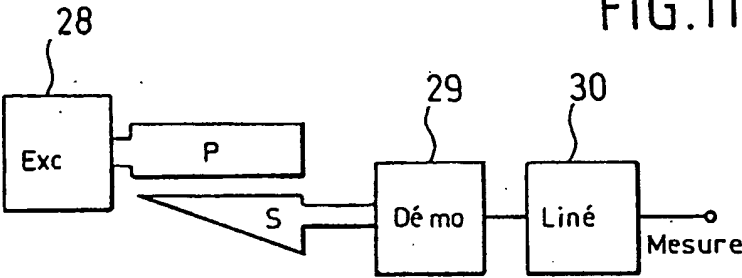
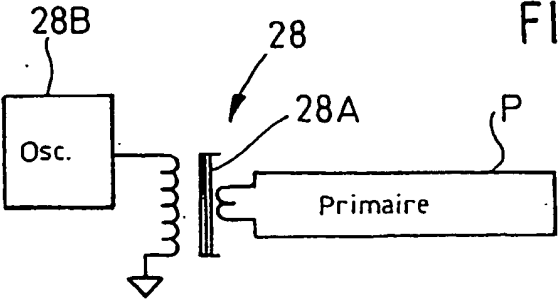


FIG.12



4/7

FIG.13

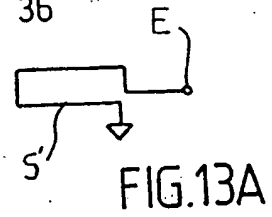
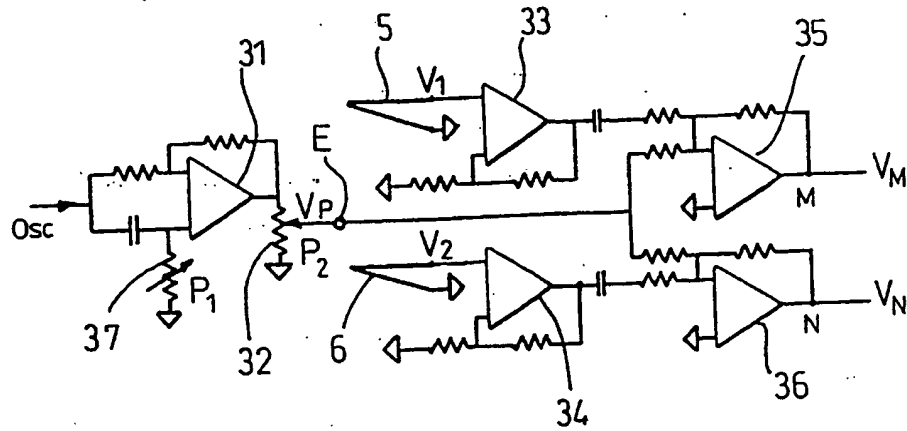


FIG.14

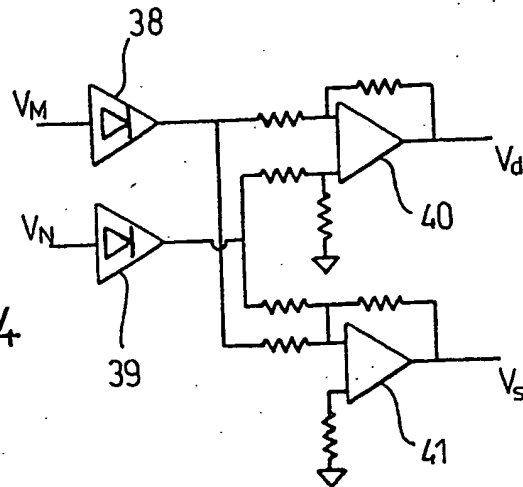
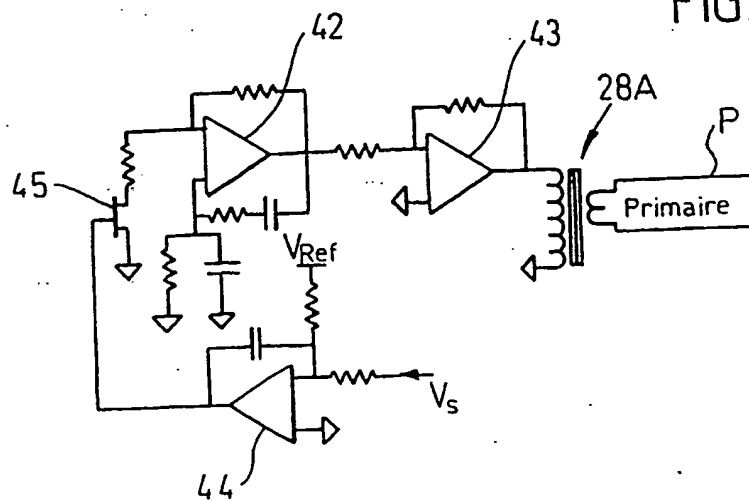
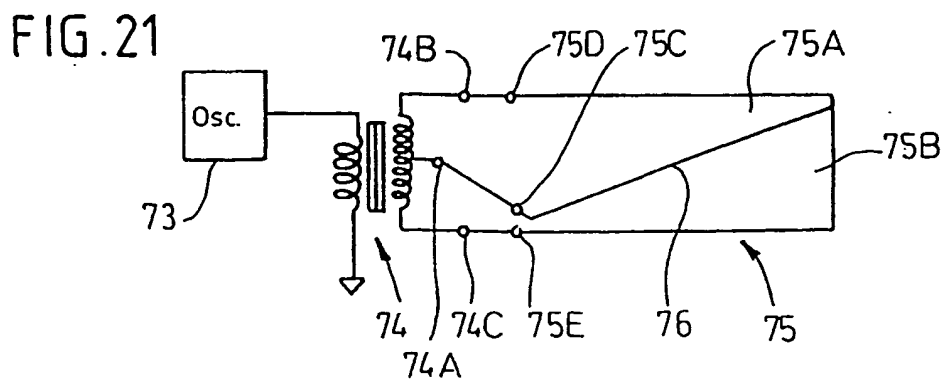
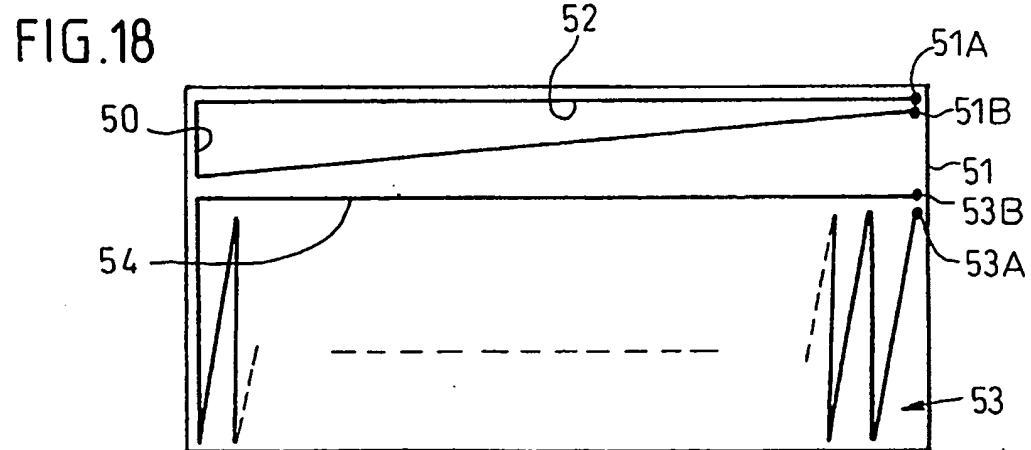
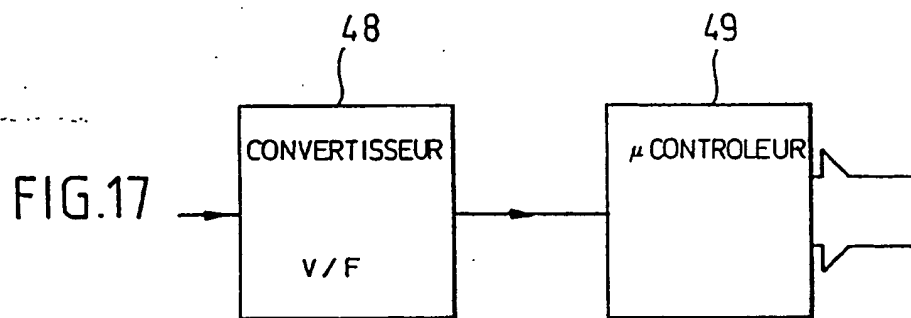
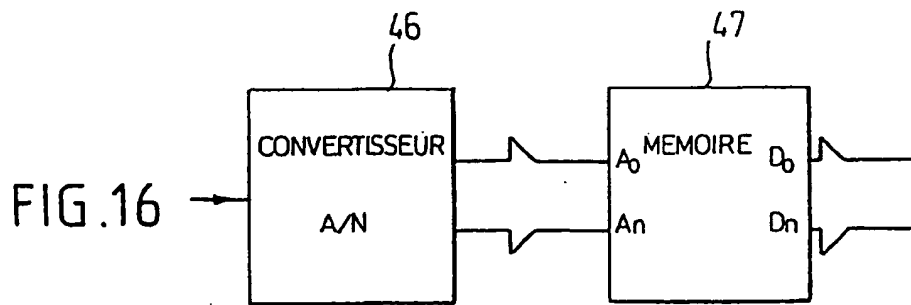


FIG.15



5/7



6/7

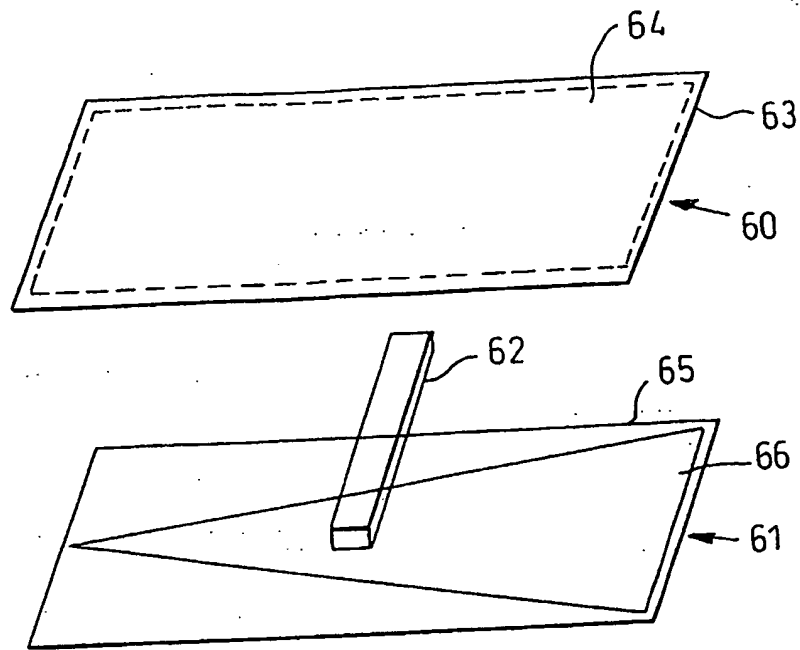


FIG. 19

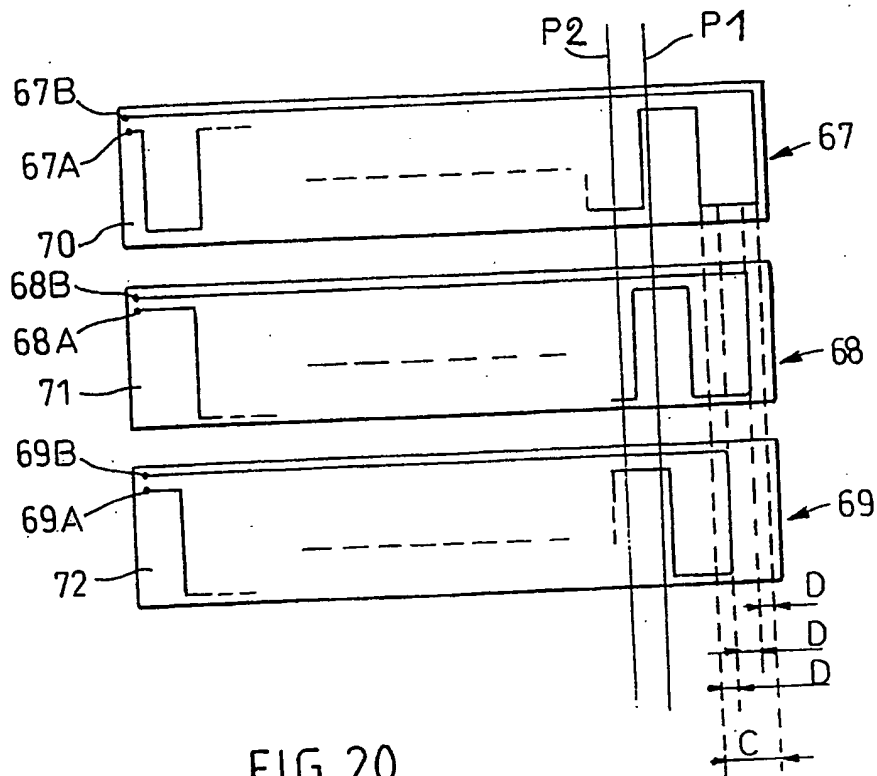
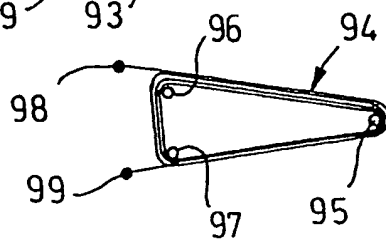
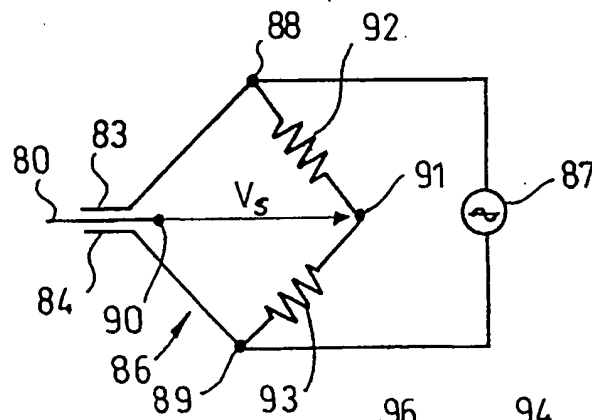
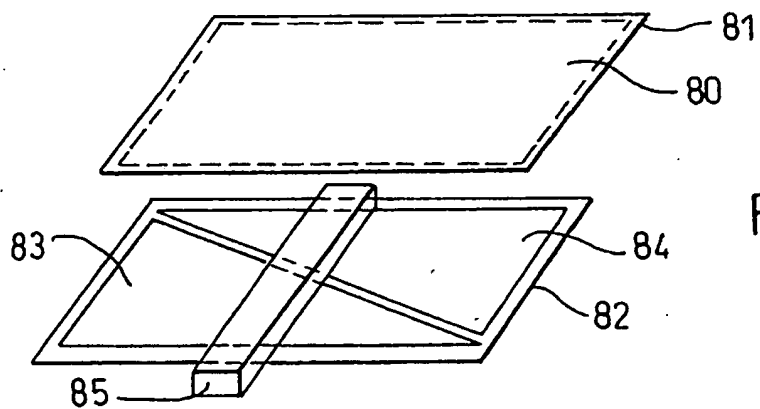
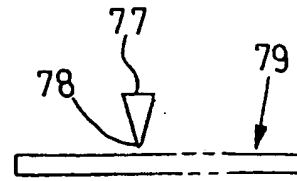
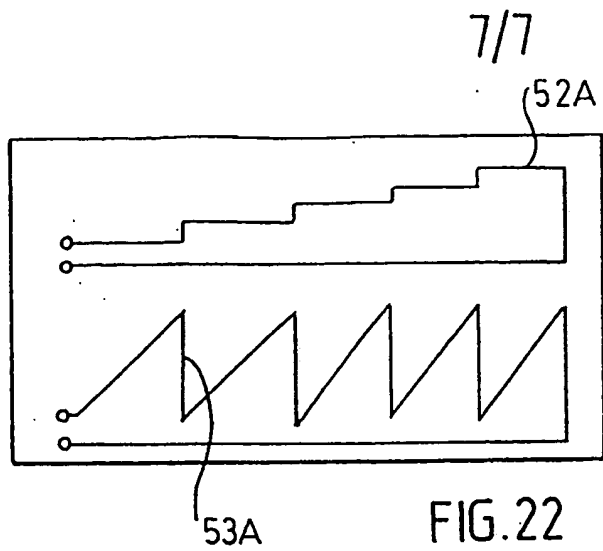


FIG. 20





INSTITUT NATIONAL  
de la  
PROPRIETE INDUSTRIELLERAPPORT DE RECHERCHE  
établi sur la base des dernières revendications  
déposées avant le commencement de la rechercheFR 9113005  
FA 463458

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
X	DE-A-2 617 624 (METRAWATT GMBH)  * page 4, alinéa 2 - alinéa 3 * * revendications 1-3; figures 1A, 1B, 3 *	1, 2, 4, 6, 7, 19
Y	---	10, 14
X	DE-A-4 026 917 (DAIMLER-BENZ AG) * colonne 2, ligne 2 - ligne 54; figures 2-4 *	1, 2, 4, 9
A	---	11
Y	GB-A-2 097 536 (P.C.F. WOLFENDALE) * revendication 1; figure 1 *	10, 14
A	DE-A-2 520 851 (WEITMANN & KONRAD) * page 5, alinéa 2 - page 7, alinéa 1; figure 1 *	1, 2, 4
A	GB-A-2 042 183 (FARRAND INDUSTRIES INC.) * abrégé; figure 1 *	1, 3
		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.5)
		G01D G01B
Date d'achèvement de la recherche 01 JUILLET 1992		Examinateur CHAPPLE I. D.
<p><b>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</b></p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul  Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie  A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général  O : divulgation non-écrite  P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention  E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.  D : cité dans la demande  L : cité pour d'autres raisons  &amp; : membre de la même famille, document correspondant</p>		

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**